

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 892 219 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.01.1999 Patentblatt 1999/03

(51) Int. Cl.⁶: F23R 3/26, F23R 3/28

(21) Anmeldenummer: 97810491.7

(22) Anmeldetag: 15.07.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE
Benannte Erstattungsstaaten:
AL LT LV RO SI

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:
• Döbbling, Klaus, Dr.
5210 Windisch (CH)

• Pascherelt, Christian, Dr.
5400 Baden (CH)
• Polifke, Wolfgang, Dr.
5210 Windisch (CH)

(74) Vertreter: Klein, Ernest et al
Asea Brown Boveri AG
Immaterialgüterrecht (TEI)
Haselstrasse 16/699 I
5401 Baden (CH)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern

(57) In einer Gasturbine mit einer Vorrichtung zur Brennstoffeindösung, welche Brennstoff in eine Mischvorrichtung (12) eindüst, wobei der eingedüste Brennstoff in der Mischvorrichtung (12) mit Verbrennungsluft vermischt wird und in der die Gasturbine weiterhin eine stromabwärts der Mischvorrichtung (12) angeordnete Brennkammer (16) aufweist, wobei die Länge der Brennkammer L_{BK} und die Länge der Mischvorrichtung L_{mix} beträgt, ist zur Unterdrückung von thermoakustischen Schwingungen die die Brennkammer (16) und die Mischvorrichtung (12) enthaltende Vormischbrennkammer (10) so ausgelegt, dass eine in der Vormischbrennkammer (10) vorkommende akustische Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) eine entropiewelleninduzierten Druckschwankung bei einer bestimmten, zu dämpfenden Frequenz ω gegenphasig überlagert.

EP 0 892 219 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Gasturbine umfassend eine Vorrichtung zur Brennstoffeindüsung, welche Brennstoff in eine Mischvorrichtung eindüst, wobei der eingedüste Brennstoff in der Mischvorrichtung mit Verbrennungsluft vermischt wird. Die Gasturbine weist weiterhin eine stromabwärts der Mischvorrichtung angeordnete Brennkammer auf, wobei die Länge der Brennkammer L_{BK} und die Länge der Mischvorrichtung L_{Mix} beträgt.

Stand der Technik

In Brennkammern von Gasturbinen treten häufig unerwünschte thermoakustische Schwingungen auf. Dabei werden mit thermoakustischen Schwingungen sich gegenseitig aufschaukelnde thermische und akustische Störungen bezeichnet. Es können dabei hohe Schwingungsamplituden auftreten, die zu unerwünschten Effekten, wie etwa einer hohen mechanischen Belastung der Brennkammer, erhöhten Emissionen durch eine inhomogene Verbrennung und sogar zu einem Erlöschen der Flamme führen können.

Die in die Brennkammer einströmende Kühlluft hat bei herkömmlichen Brennkammern eine bedeutende Funktion, da der Kühlluftfilm an der Brennkammerwand eine schalldämpfende Wirkung hat. In modernen Gasturbinen wird allerdings zur Erzielung möglichst geringer NO_x -Emissionen nahezu der gesamte Anteil der Luft durch den Brenner selbst geleitet, der Anteil für die Filmkühlung der Brennkammer also reduziert. Die Kühlluft fällt damit als Dämpfer akustischer und thermoakustischer Schwingungen weitgehend aus.

Eine weitere Möglichkeit der Schalldämpfung besteht im Ankoppeln von Helmholtz-Dämpfern im Bereich der Kühlluftzuführung, wie etwa in der EP-A1 0 576 717 beschrieben. Dies ist jedoch aus Platzgründen nicht immer möglich. Darüber hinaus erfordert diese Methode oftmals einen großen konstruktiven Aufwand.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, ein möglichst einfaches und mit möglichst geringem konstruktivem Aufwand und zusätzlichem Platzbedarf verbundenes Verfahren bereitzustellen, mit dem unerwünschte thermoakustische Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern minimiert werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine geeignete Abstimmung von Mischvorrichtung, Brenner und/oder Brennkammer erreicht, derart, daß durch Schwankungen der Gasgeschwindigkeit am Ort der Brennstoffeindüsung erzeugte Entropiewellen Druckschwankungen am Brennkammeraustritt induzieren, welche sich den in der Brennkammer herrschenden

Druckschwankungen gegenphasig überlagern und so insgesamt eine Verringerung der Schwingungsamplituden bewirken. Erfindungsgemäß wird dies durch eine geeignete Wahl einer Reihe von Parametern der Brennkammer, der Mischvorrichtung und der Verbrennungsgrößen selbst erreicht.

Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit am Ort der Brennstoffeindüsung führen erfahrungsgemäß zu Fluktuationen der Brennstoffkonzentration am Ort der Wärmetransportation und damit zu Temperaturschwankungen im Heißgas. Diese Temperaturschwankungen, allgemeiner als Entropieschwankungen bezeichnet, werden konvektiv zum Brennkammeraustritt transportiert. Durch den sich verengenden Querschnitt am Brennkammeraustritt bzw. in der ersten Turbinenreihe lösen diese Entropieschwankungen bei einem kritischen Querschnitt, bei dem die Gasgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit nahezu oder vollständig erreicht, Druckschwankungen aus. Die Phase dieser Druckschwankungen relativ zu der Phase der akustischen Druckschwankungen der Brennkammer ist durch eine Reihe von Parametern der Brennkammer, wie etwa der Länge der Brennkammer, der Länge der Mischvorrichtung und den Temperaturen von Heißgas und Frischgas (und damit den Schallgeschwindigkeiten in Heiß- und Frischgas) bestimmt.

Nach der Erfindung werden nun diese Parameter so gewählt, daß die entropiewelleninduzierten Druckschwankungen zu bestimmten akustischen Druckschwankungen am Brennkammeraustritt gegenphasig sind. Gegenphasig bedeutet dabei, daß zwischen den beiden Phasen an dieser Stelle eine Phasendifferenz von π , 3π , 5π , etc., also eines ungeradzahlig Vielfachen von π besteht. Die entropiewelleninduzierten Druckschwankungen können im allgemeinen nicht bei allen Frequenzen zu den akustischen Druckschwankungen gegenphasig gewählt werden. Erfindungsgemäß werden die entropiewelleninduzierten Druckschwankungen dann bei einer solchen Frequenz ω zu den akustischen Druckschwankungen gegenphasig gewählt, bei der die Brennkammer aufgrund ihrer Geometrie und ihrer mechanischen Eigenschaften zu starken Druckschwankungen neigt. Dabei sind die am häufigsten vorkommenden Formen akustischer Druckschwankungen die akustischen Eigenmoden.

Bevorzugt wird diese gegenphasige Abstimmung durch eine entsprechende Wahl der Länge der Brennkammer und/oder der Länge der Mischstrecke erreicht. Vorteilhaft kann auch die Einstellung über den Massenstrom in der Mischvorrichtung, etwa durch eine Änderung der Vorleitrieheneinstellung des Kompressors, sein. Weiterhin vorteilhaft kann der Massenstrom in der Brennkammer oder die Heißgastemperatur geeignet gewählt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Aus-

führungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer Vormischbrennkammer im Teillängsschnitt;

Fig. 2 den Absolutbetrag der Druckschwankungen in mbar in Abhängigkeit von der Frequenz bei gleichphasiger Überlagerung von akustischen und entropieinduzierten Druckschwankungen am Ort des Brennkammeraustritts für ein Ausführungsbeispiel einer Brennkammer;

Fig. 3 den Absolutbetrag der Druckschwankungen in mbar in Abhängigkeit von der Frequenz bei gegenphasiger Überlagerung von akustischen und entropieinduzierten Druckschwankungen am Ort des Brennkammeraustritts für ein Ausführungsbeispiel einer Brennkammer;

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht gezeigt sind beispielsweise das Abgasgehäuse der Gasturbine mit Abgasrohr und Kamin, der Verdichter und Sammelraum der Turbine.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt eine Prinzipskizze einer Brennkammer für vorgemischte Verbrennung 10. Der Brennstoff wird durch die Öffnung 14 (Ort A) eingeblas und damit der Verbrennungsluft beigemischt. Die Mischvorrichtung 12 dient einer möglichst homogenen Vermischung der Verbrennungsluft und des Brennstoffes. Die Länge der Mischvorrichtung 12 sei L_{mix} . (In bestimmten Ausführungsformen ist die Mischvorrichtung als Mischrohr ausgebildet). Am Ende der Mischvorrichtung 12 bzw. dem Eintritt in die Brennkammer 16 (Ort B) findet die Verbrennung statt, wie durch die Flamme 18 in Fig. 1 angedeutet. Die Länge der Brennkammer 16 sei L_{bk} . Am Brennkammeraustritt 20 (Ort C) strömt die verbrannte Luft dann in die (nicht gezeigte) Turbine. Das Brennstoff/Luft-Gemisch in der Mischvorrichtung 12, also auf der kalten Seite der Flamme 18, wird im folgenden als Frischgas bezeichnet, das verbrannte Brennstoff/Luft-Gemisch auf der heißen Seite der Flamme 18 wird als Heißgas bezeichnet.

Es wurde nun gefunden, dass im allgemeinen thermoakustische Schwingungen durch Schwankungen ΔQ am Ort B, also dem Ort der Wärmerfreisetzung, verursacht werden. Die gesamte Schwankung läßt sich dabei als Summe eines hydrodynamischen Anteils ΔQ_h und eines mischungskontrollierten Anteils ΔQ_λ darstellen.

Der hydrodynamische Anteil ist dabei auf Schwankungen der turbulenten Mischungsrate von Frisch- und

Heißgas zurückzuführen. Dieser Anteil führt nicht zu Temperaturschwankungen im Heißgas, da zwar die momentan umgesetzte Menge an Frischgas und somit die momentan produzierte Wärmemenge schwankt, nicht aber die Brennstoffkonzentration im Frischgas und somit die freigesetzte Wärme pro Masse.

Es wurde gefunden, daß der zweite, mischungskontrollierte Anteil ΔQ_λ bei den unerwünschten Brennkammerschwingungen eine bedeutende Rolle spielt. Dieser Anteil ist auf Schwankungen der Geschwindigkeit am Ort der Brennstoffeindösung zurückzuführen. Eine Schwankung der Geschwindigkeit Δu_1 am Ort der Brennstoffeindösung (Ort A) führt nach einer gewissen Verzugszeit τ_{mix} zu einer Schwankung der Wärmerfreisetzungsrates ΔQ_λ am Ort B, da durch solche Schwankungen die Luftmenge und damit die Brennstoffkonzentration am Ort B variiert. Die Verzugszeit τ_{mix} ist dabei im wesentlichen die Aufenthaltszeit des Brennstoff/Luft-Gemisches in der Mischvorrichtung 12, ist also gegeben durch die Länge der Mischvorrichtung L_{mix} und die Strömungsgeschwindigkeit des Frischgases u_1 . Somit gilt in erster Näherung

$$\Delta Q_\lambda(t)/Q = -\Delta u_1(t-\tau_{mix})/u_1 \quad (1)$$

wobei Q die mittlere freigesetzte Wärmemenge am Ort B darstellt und u_1 die mittlere Geschwindigkeit am Ort der Brennstoffeindösung (A) darstellt. Wie oben beschrieben, hängt die Schwankung der Wärmerfreisetzung zur Zeit t wegen der Laufzeit des Frischgases in der Mischvorrichtung von der Geschwindigkeitsschwankung zu einem früheren Zeitpunkt $(t-\tau_{mix})$ ab. Nimmt man nun eine Geschwindigkeitsschwankung an, die periodisch mit einer Frequenz ω variiert, so variiert auch die Wärmerfreisetzungsrates periodisch mit dieser Frequenz und es gilt für die Phasendifferenz der beiden Schwankungen:

$$\Phi_\lambda = \pi - \omega \tau_{mix} \quad (2)$$

Die zusätzliche Phasendrehung von π ist dabei darauf zurückzuführen, daß die Wärmerfreisetzungsrates am Ort B proportional zum Brennstoff/Luft Verhältnis und somit umgekehrt proportional zur Geschwindigkeitsschwankung am Ort A ist.

Da eine höhere Brennstoffkonzentration zu einer höheren Temperatur des Heißgases führt, entstehen am Ort B Temperaturschwankungen (oder allgemeiner Entropieschwankungen), die mit der Geschwindigkeit der Heißgases Ort zum Brennkammeraustritt (Ort C) transportiert werden. Periodische Schwankungen der Geschwindigkeit am Ort der Brennstoffeindösung (Ort A) führen also zu Entropiewellen die sich vom Ort der Verbrennung (Ort B) zum Brennkammeraustritt (Ort C) ausbreiten. Durch den sich verengenden Querschnitt am Brennkammeraustritt lösen diese Entropieschwankungen am Ort C ihrerseits Druckschwankungen aus. Die Phasenlage dieser Druckstörungen am Ort C relativ

zur Phase der Wärmefreisetzungsrate ist dabei durch die konvektive Strömungsgeschwindigkeit des Heißgases, d.h. durch die Verweilzeit des Heißgases in der Brennkammer, T_{BK} , gegeben. Diese relative Phase Φ_s ist dann gegeben durch

$$\Phi_s = -\omega T_{BK} \quad (3)$$

Insgesamt ergibt sich also die Phasendifferenz zwischen den periodischen Druckschwankung am Brennkammeraustritt (Ort C) und den Geschwindigkeitsschwankungen am Ort A zu $\Phi_{entropie} = \Phi_\lambda + \Phi_s$.

Unabhängig von diesen Temperaturschwankungen gibt es erfahrungsgemäß in Brennkammern akustische Schwankungen und Schwingungen, die je nach der jeweiligen Auslegung einer Brennkammer mehr oder weniger ausgeprägt sind. Im allgemeinen werden akustische Schwingungen insbesondere nahe den Eigenschwingungen der Brennkammer oder eines Systems Brennkammer plus Brennkammerhaube, besonders ausgeprägt sein. Die Randbedingungen der akustischen Schwingungen ergeben sich zum einen daraus, daß der Brennkammeraustritt 20 eine hohe akustische Impedanz aufweist, also ein akustisch hartes Ende darstellt. Auf der stromaufwärtigen Seite bildet im allgemeinen die Grenze des Sammelraums (in Fig. 1 nicht gezeigt) oder eine Brennkammerhaube ein akustisch hartes Ende. Für eine stehende akustische Welle in dem durch die beiden akustisch harten Enden definierten schwingenden System gilt dann für die Phasendifferenz zwischen der Druckschwankung am Brennkammeraustritt (Ort C) und den Geschwindigkeitsschwankungen am Ort A

$$\Phi_{akustisch} = \pi/2 - \omega L_{mix}/c_c - \omega L_{BK}/c_H \quad (4)$$

Der Phasenshift von $\pi/2$ stellt dabei die übliche Phasenverschiebung zwischen Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen in einer stehenden akustischen Welle dar. Die beiden anderen Terme auf der rechten Seite von Gleichung (4) resultieren aus der Laufzeit einer Schallwelle in der Brennkammer (Schallgeschwindigkeit im Heißgas c_H) und in der Mischvorrichtung (Schallgeschwindigkeit im Frischgas c_c).

Es wurde nun gefunden, daß die relative Phase der stehenden akustischen Welle und der Entropiewelle am Ort des Brennkammeraustritts bei der Dämpfung oder Verstärkung der stets vorhandenen Brennkammer-schwingungen eine große Rolle spielen. Die Phasendifferenz zwischen der akustischen Welle und der Entropiewelle ist

$$\begin{aligned} \Phi_{rel} &= \Phi_{entropie} - \Phi_{akustisch} \\ &= \pi/2 - \omega(\tau_{mix} + T_{BK} - L_{mix}/c_c - L_{BK}/c_H) \end{aligned} \quad (5)$$

Ist nun bekannt, daß die Brennkammer aufgrund ihrer Geometrie und ihrer mechanischen Eigenschaften

bei einer bestimmten Frequenz ω zu starken Druckschwankungen neigt, so werden erfindungsgemäß die zur Verfügung stehenden Parameter so gewählt, daß die relative Phase Φ_{rel} bei dieser Frequenz ein ungeradzahliges Vielfaches von π ist. Dann überlagern sich die entropiewelleninduzierte Druckstörungen und die Druckschwankung der stehenden akustischen Welle am Brennkammeraustritt 20 gegenphasig, so daß die gesamte thermoakustische Störung bei dieser Frequenz minimiert wird. Ist andererseits die relative Phase Φ_{rel} bei einer Frequenz ω ein geradzahliges Vielfaches von π , so verstärken sich die entropiewelleninduzierte Druckstörungen und die Druckschwankung der stehenden akustischen Welle, wodurch deutlich höhere Schwingungsamplituden und damit eine erhöhte mechanische Belastung der Brennkammer und die weiteren damit verbunden Nachteile resultieren.

Es ist erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, wenn die Auslegung der Brennkammer und Vormischstrecke auf gegenphasige Abstimmung durch die Wahl der Länge der Brennkammer L_{BK} und/oder der Länge der Mischvorrichtung L_{mix} erfolgt. Der Großen L_{BK} und/oder L_{mix} werden dabei so gewählt, daß die relative Phase Φ_{rel} , wie sie in Gleichung (5) definiert ist, bei der zu dämpfenden Frequenz ein ungeradzahliges Vielfaches von π wird. Die zu dämpfende Frequenz wird, wie oben dargestellt, im allgemeinen eine Frequenz sein bei der die Brennkammer aufgrund ihrer Geometrie und mechanischen Eigenschaften zu starken Druckschwankungen neigt.

Dabei ist zu beachten, dass die Erfindung auch dann ausgeführt werden kann, wenn die Mischstrecke sehr kurz ist oder sogar ganz wegfällt bzw. die Mischvorrichtung in die Brennstoffeindösung bzw. den Drall-erzeuger integriert ist (wie z.B. beim ABB Doppelbrenner). Wichtig ist dabei, dass die entsprechende kürzere Verzugszeit τ_{mix} zwischen Brennstoffeindösung und Ort der Wärmefreisetzung in der Auslegung berücksichtigt wird.

Es kann erfindungsgemäß ebenfalls vorteilhaft sein, die gegenphasige Abstimmung - eventuell zusätzlich zur Wahl der Längen L_{BK} und/oder L_{mix} - durch die Gasgeschwindigkeiten, also die Geschwindigkeit des Frischgases in der Mischvorrichtung und/oder die Geschwindigkeit des Heißgases in der Brennkammer zu erreichen oder zu verbessern.

Weiterhin vorteilhaft kann, eventuell zusätzlich zu den bereits angesprochenen Möglichkeiten, die Kontrolle oder Verbesserung der gegenphasigen Abstimmung durch die Wahl der Temperaturen von Frisch- und/oder Heißgas sein. Diese Temperaturen gehen in Gleichung (5) nicht direkt ein, sie beeinflussen jedoch die Schallgeschwindigkeiten c_c und c_H und die Verweilzeiten der Gase in Mischvorrichtung und Brennkammer.

Die Vorteile der Erfindung sind in einem speziellem Beispiel in den Figuren 2 und 3 gezeigt. Das Beispiel bezieht sich auf eine typische Vormischbrennkammer mit einer Brennkammerlänge $L_{BK} = 0.65$ m, einer Länge

der Mischvorrichtung $L_{mix} = 0.1$ m, einer Verzugszeit τ_{mix} von 1.25 ms, einer Verweilzeit in der Brennkammer von $T_{BK} \approx 20$ ms und Schallgeschwindigkeiten im Frischgas bzw. Heißgas von $c_c = 547$ m/s bzw. $c_H = 796$ m/s. Die Brennkammer neigt bei einer Resonanzfrequenz von etwa 128 Hz zu starken Druckschwankungen. Dies läßt sich auch aus den durchgezogenen Linien in Fig. 2 und 3 zu erkennen, die mit einem numerischen Modell für Brennkammerthermoakustik berechnet wurden. Figur 2 zeigt die Druckschwankungen bei einer gleichphasigen Überlagerung von akustischen und entropiewelleninduzierten Druckschwankungen bei 128 Hz, Fig. 3 die Druckschwankungen bei einer erfindungsgemäßen gegenphasigen Überlagerung. Die Amplitude der Druckschwankungen bei etwa 128 Hz läßt sich durch die gegenphasige Auslegung beachtlich reduzieren. Es können zwar Nebenspitzen auftreten, doch wird insgesamt die Belastung der Brennkammer durch thermoakustische Schwingungen deutlich reduziert.

Bezugszeichenliste

- 10 Vormischbrennkammer
- 12 Mischvorrichtung
- 14 Öffnung
- 16 Brennkammer
- 18 Flamme
- 20 Brennkammeraustritt

Patentansprüche

1. Gasturbine umfassend eine Vorrichtung zur Brennstoffeindüsung, welche Brennstoff in eine Mischvorrichtung (12) eindüsst, wobei der einge düste Brennstoff in der Mischvorrichtung (12) mit Verbrennungsluft vermischt wird, die Gasturbine weiterhin aufweisend eine stromabwärts der Mischvorrichtung (12) angeordnete Brennkammer (16), wobei die Länge der Brennkammer L_{BK} und die Länge der Mischvorrichtung L_{mix} beträgt, dadurch gekennzeichnet, dass eine die Brennkammer (16) und die Mischvorrichtung (12) enthaltende Vormischbrennkammer (10) so ausgelegt ist, dass eine in der Vormischbrennkammer (10) vorkommende akustische Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) eine entropiewelleninduzierte Druckschwankung bei einer bestimmten, zu dämpfenden Frequenz ω gegenphasig überlagert.
2. Gasturbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Auslegung der Vormischbrennkammer (10) die Länge der Brennkammer (16) und/oder die Länge der Mischvorrichtung (12) so gewählt wird, dass die akustische Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) die entropiewelleninduzierte

Druckschwankung gegenphasig überlagert.

3. Gasturbine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Auslegung der Vormischbrennkammer (10) die Schallgeschwindigkeiten in der Brennkammer (16) und/oder in der Mischvorrichtung (12) berücksichtigt wird, so dass die akustische Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) die entropiewelleninduzierte Druckschwankung gegenphasig überlagert.
4. Gasturbine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Auslegung der Vormischbrennkammer (10) die Gasgeschwindigkeiten in der Brennkammer (16) und/oder in der Mischvorrichtung (12) berücksichtigt wird, so dass die akustische Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) die entropiewelleninduzierte Druckschwankung gegenphasig überlagert.
5. Verfahren zur Minimierung der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in einer Gasturbine mit einer eine Brennkammer (16) und eine Mischvorrichtung (12) enthaltenden Vormischbrennkammer (10), dadurch gekennzeichnet, dass eine akustische Druckschwankung mit einer entropiewelleninduzierten Druckschwankung am Brennkammeraustritt (20) bei einer bestimmten, zu dämpfenden Frequenz ω gegenphasig überlagert wird.
6. Verfahren nach Ansprüche 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Brennkammer (16) und/oder die Länge der Mischvorrichtung (12) so gewählt wird, dass die akustische Eigenmode mit der propagierenden Entropiewelle am Brennkammeraustritt (20) gegenphasig überlagert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallgeschwindigkeiten in der Brennkammer (16) und/oder in der Mischvorrichtung (12) so gewählt werden, dass die akustische Eigenmode mit der propagierende Entropiewelle am Brennkammeraustritt (20) gegenphasig überlagert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasgeschwindigkeiten in der Brennkammer (16) und/oder in der Mischvorrichtung (12) so gewählt werden, dass die akustische Eigenmode mit der propagierende Entropiewelle am Brennkammeraustritt (20) gegenphasig überlagert wird.

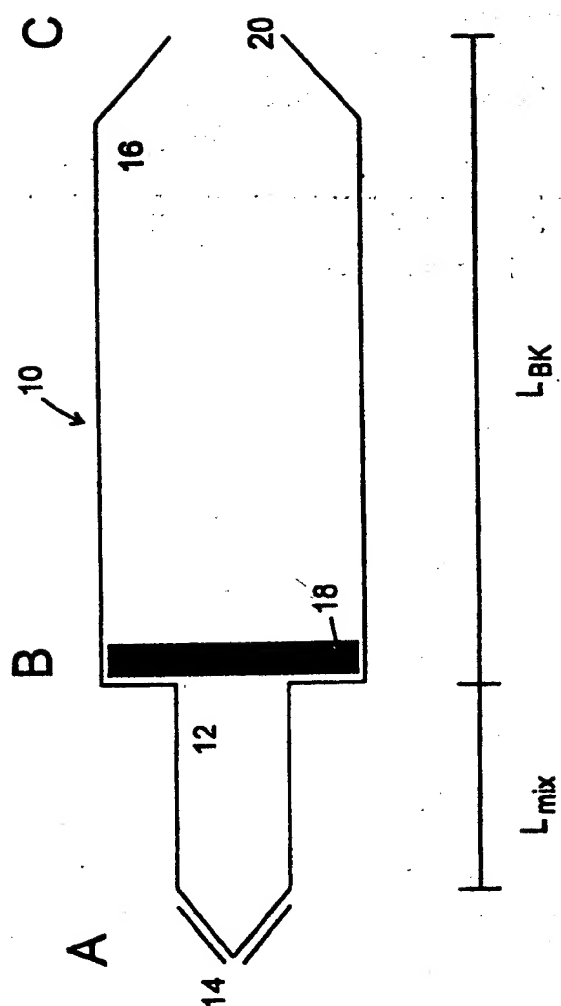


Fig. 1

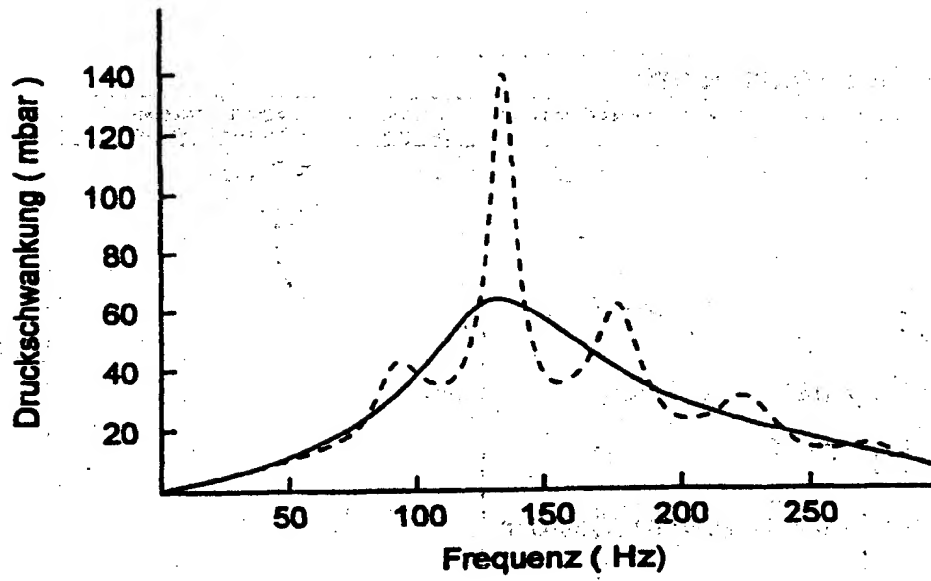


Fig. 2

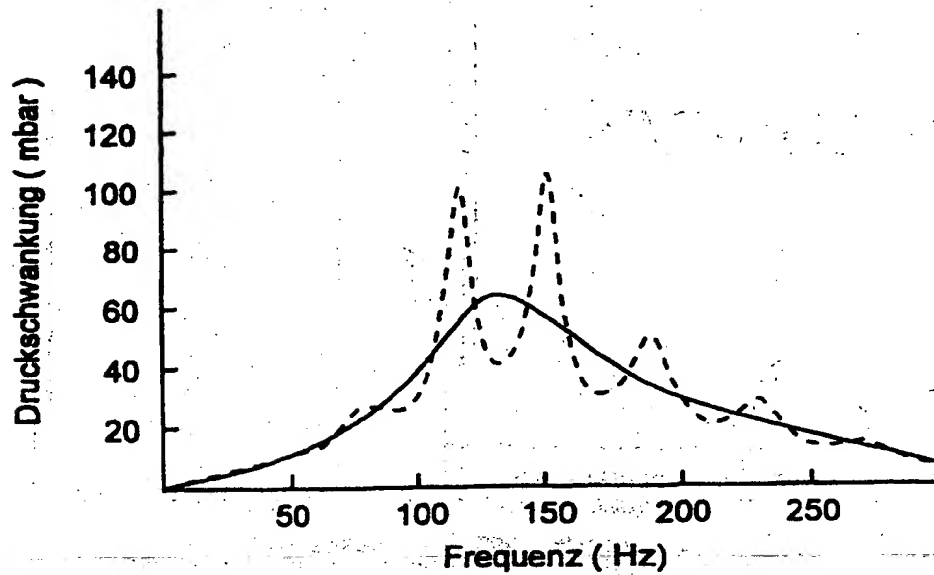


Fig. 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 97 81 0491

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	US 4 199 295 A (ANDRE PIERRE A ET AL) 22. April 1980 * Spalte 1, Absatz 2 * * Spalte 1, Absatz 4 * * Spalte 1, Absatz 7 * * Spalte 2, Zeile 21 - Zeile 39 * * Abbildungen *	1-8	F23R3/26 F23R3/28
A	US 3 951 566 A (MATTEI JEAN ET AL) 20. April 1976 * Spalte 2, Zeile 40-50 * * Abbildungen *	1-8	
A	US 5 092 425 A (SHAW JR LEONARD L) 3. März 1992		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F23R F02K F02C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 18. Dezember 1997	Prüfer Raspo, F
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist O : in der Anmeldung eingeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.92 (P4C03)